

*Роман Антонович Миколайчук*

## ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ З ДИНАМІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ПЛАТ

### Постановка проблеми. Аналіз Останніх досліджень і публікацій

Як правило, проведення повномасштабного натурного експерименту для складних технічних систем є недоцільним через високий рівень складності та фінансових витрат [1-3]. Тому, в більшості випадків, експериментальні дослідження проводяться на фізичних та статистичних моделях, а натурний експеримент – лише для окремих підсистем та елементів, що мають найбільш високий рівень невизначеності.

Особливості побудови складних технічних систем з динамічною структурою, також не дозволяють провести повномасштабні експериментальні дослідження. Тому верифікацію отриманих наукових положень та результатів доцільно провести шляхом комплексного застосування експериментальних методів. В ході попередніх досліджень [4,5] розроблена математична модель, що ґрунтується на використанні параметрів функціонального поля системи з динамічною структурою. Це дозволяє моделювати процес функціонування системи з динамічною структурою.

Описані в роботах [6,7] підходи до проведення фізичного моделювання передбачають проведення серії обчислень, в ході яких поточні значення параметрів об'єктів впливу визначаються методом Монте-Карло. Разом з тим, особливості систем з динамічною структурою потребують відповідного доопрацювання відомих моделей та алгоритмів.

### Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Сутність фізичного моделювання полягає у заміні об'єкта дослідження моделлю, параметри якої пов'язано з досліджуваними параметрами об'єкта. При цьому, широко застосовуються положення теорії подібності. Позначимо множину  $X$  досліджуваних параметрів системи  $X = \{x\}$ ,  $X \subset \Xi$ , де  $\Xi = \{\xi\}$  – множина усіх параметрів системи, при чому  $\exists \xi = f(X)$ . Позначимо фізичну модель  $\Phi$  системи, як відображення множини вхідних параметрів  $R = \{r\}$  у множину вихідних параметрів моделі  $\hat{X} = \{\hat{x}\}$ , при чому всі  $\hat{x}$

можуть бути виміряні. Тоді  $\hat{X} = \Phi(R)$ . Встановивши бієкційну відповідність між множинами  $X \leftrightarrow \hat{X}$  можливо записати:  $\forall x \in X, x \leftrightarrow \hat{x} \Rightarrow \exists k \in K : |x - k \cdot \hat{x}| < \varepsilon$ , де  $K$  – множина коефіцієнтів подібності;  $\varepsilon$  – припустима точність визначення параметру  $x$ .

Таким чином, за результатами моделювання на моделі  $\Phi$  можливо отримати оцінки значень досліджуваних параметрів.

В ході розробки фізичної моделі було враховано наступні обмеження та припущення:

моделювання відбувається у просторі, що має властивість геометричної подібності до простору функціонування системи;

параметри датчиків та виконавчих модулів підбираються на принципі рівності відповідних потенціалів функціонального поля системи [5] із урахуванням зворотного перетворення геометричних параметрів моделі;

простір функціонування моделі ізольовано від зовнішніх впливів;

рух об'єктів впливу відбувається із урахуванням геометричного перетворення простору функціонування;

структура системи складається з мінімальних за включенням множин елементів, зв'язків та функцій;

використовується провідний зв'язок між елементами моделі;

процес моделювання полягає у багаторазовому відтворенні проходження об'єкту впливу у просторі моделювання із фіксацією параметрів функціонування моделі;

результати моделювання апроксимуються до структури системи за допомогою відповідних перетворень;

ззначені перетворення мають експонентний чи обернено пропорційний характер відносно до збільшення кількості елементів системи.

Вихідними даними для проведення фізичного моделювання є:

параметри датчиків та виконавчих пристроїв;  
параметри руху об'єктів впливу у просторі моделювання;

коефіцієнти подібності  $K$ ;

множина оцінюваних параметрів  $\hat{X}$ ;

множина послідовно виконуваних функцій системи  $F = \{f^-\}$ ; мінімальна конфігурація структури системи з

динамічною структурою  $\alpha^{\min}$ . Аналіз процесу функціонування системи дозволяє визначити її мінімально достатню структуру, наведену на рисунку 1.

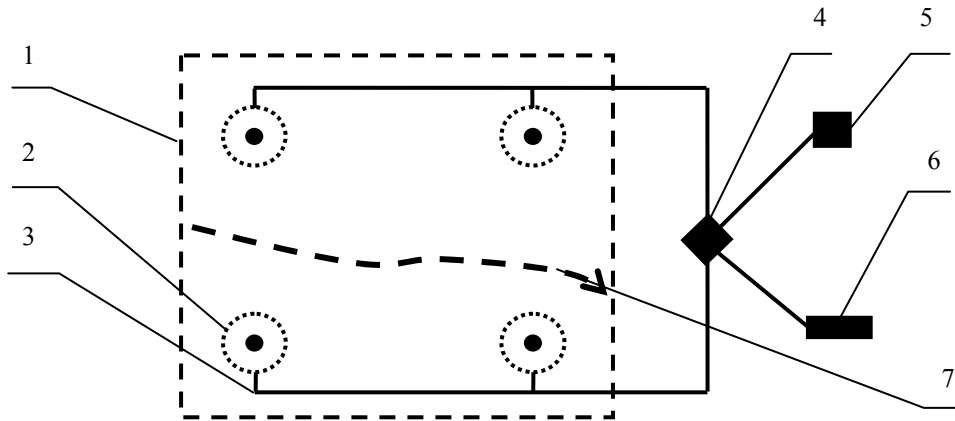


Рис. 1. Схема фізичної моделі системи з динамічною структурою мінімальної конфігурації: 1 – простір моделювання; 2 – датчики; 3 – лінії зв'язку; 4 – логічний модуль; 5 – виконавчий пристрій; 6 – командний пристрій; 7 – траєкторія руху об'єкту впливу

Застосування саме такої конфігурації моделі дозволить відтворювати основні функції системи, що забезпечить визначення необхідних параметрів. З метою фізичної реалізації наведеної на рис. 1 схеми та забезпечення виконання модельної логіки доцільно застосовувати мікропроцесорну техніку. В роботі, для створення фізичної моделі, застосовуються мікроконтролерні плати Arduino на базі мікропроцесору ATmega328 [7]. Відкрита архітектура, доступність програмного забезпечення (інтегрованого

середовища розробника IDE) на основі мови програмування C++, наявність можливостей для розширення та достатньої кількості цифрових та аналогових входів-виходів, прийнятна тактова частота роботи (16 MHz) – дозволяють забезпечити всі необхідні для створення фізичної моделі потреби. Таким чином фізична модель системи з динамічною структурою мінімальної конфігурації являтиме собою апаратно-програмне середовище, схему якого наведено на рисунку 2.

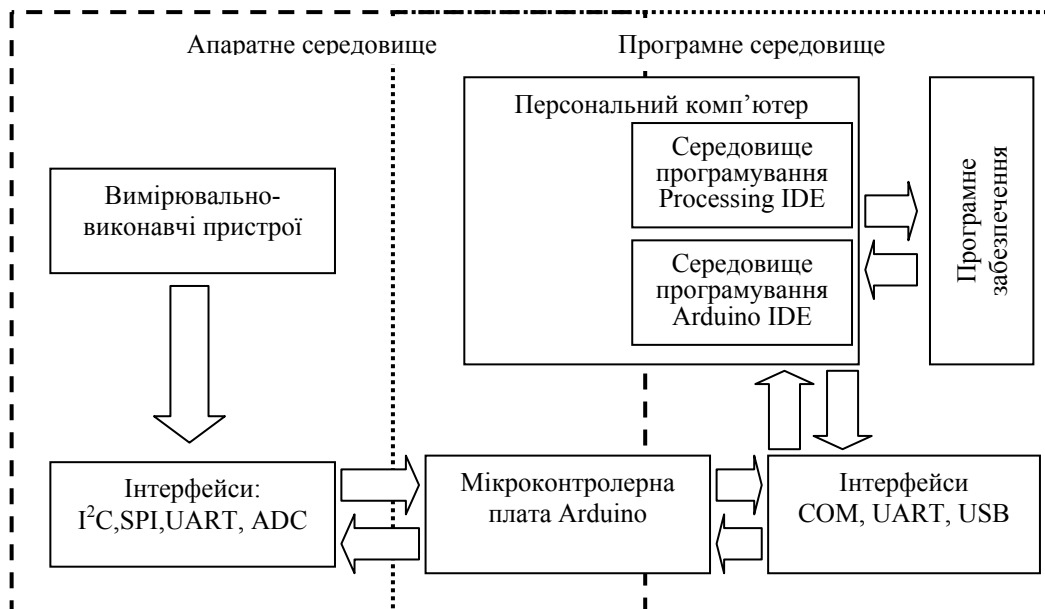


Рис. 2. Схема апаратно-програмного середовища фізичної моделі системи з динамічною структурою мінімальної конфігурації

Як показано на рис. 2, функціонування системи моделюється через вимірювально-виконавчі пристрої (датчики, виконавчі пристрої), що

керуються мікроконтролерною платою (логічний модуль) та персональним комп'ютером (командний пристрій) за допомогою відповідного

програмного забезпечення. При цьому зв'язок між елементами фізичної моделі відбувається через низку відповідних інтерфейсів.

Програмне забезпечення фізичної моделі призначене для початкового налаштування та контролю за станом окремих елементів моделі, організації процесу функціонування моделі, отримання результатів досліджень на моделі. До складу програмного забезпечення входять відповідні програми для персонального комп'ютера та мікропроцесора, розроблені у програмному середовищі Processing. Основними функціями програмного забезпечення є:

ініціалізація та калібрування пристроїв, визначення їх координат у просторі моделювання, перевірка працездатності системи, визначення наявності об'єкту впливу та траєкторії його руху, здійснення взаємодії між системою та об'єктом впливу. Особливості програмного забезпечення полягають у тому, що в тіло програми включаються відповідні ділянки коду, які відповідають за визначення та збереження параметрів моделі, з метою подальшої обробки результатів моделювання. Узагальнений алгоритм роботи програмного забезпечення наведено на рисунку 3.

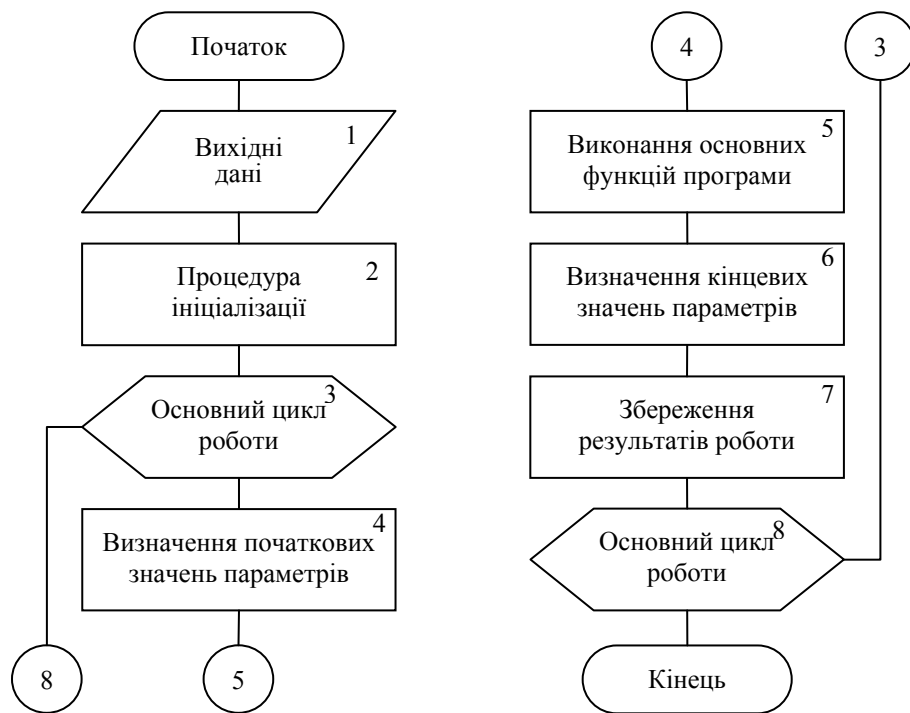


Рис.3. Узагальнений алгоритм роботи програмного забезпечення фізичної моделі

Відповідно до рис.3, основна робота програм відбувається в блоках 1-3,5,8. В блоках 4,6,7 – відбувається аналіз поточних параметрів фізичної моделі та їх запис для подальшого аналізу. Зазначені особливості програмного забезпечення позбавляють необхідності використовувати в ході лабораторних досліджень окремі вимірвальні пристрої.

Розробка програмного забезпечення створює передумови для створення відповідних апаратних компонентів фізичної моделі.

Датчики призначено для виявлення об'єктів впливу та забезпечення визначення їх координат. Окрім того, необхідно забезпечити можливість визначення координат розташування датчика, для чого доцільно ввести відповідний генератор сигналу. Датчик отримує зовнішній сигнал за допомогою чутливого елемента. У подальшому за допомогою допоміжних елементів (фільтри, підсилювачі, електронна логіка) здійснюється первинна обробка сигналу та його передача до

логічного модулю через інтерфейсний модуль. Для позиціонування застосовується генератор сигналу, який за командою видає імпульс, що сприймається логічним модулем з метою визначення координат датчика. Елемент живлення призначений для забезпечення роботи датчика. Може використовуватись внутрішній чи зовнішній елемент живлення.

Логічний модуль призначений для обробки сигналів від датчиків, комунікації з командним пристроєм, та видачі команди на виконавчі пристрої. Основу логічного модуля складає мікроконтролерна плата. Для моніторингу роботи модуля використовується блок індикації. Координатний модуль служить для позиціонування елементів фізичної моделі у просторі моделювання. Інтерфейсний модуль забезпечує обмін інформацією між елементами логічного модуля та зовнішніми компонентами. Елемент живлення може бути внутрішнім або зовнішнім (використовується живлення інтерфейсу USB).

Виконавчий пристрій призначений для обробки сигналів від логічного модуля, та здійснення взаємодії між системою та об'єктами впливу. До складу пристрою включено мікроконтролерну плату для забезпечення наведення на об'єкт впливу, а також, сумісно з координатним блоком, уточнення координат компонентів моделі. Елемент живлення внутрішній для забезпечення подачі необхідного струму на сервоприводи пристрою.

Як вже зазначалося раніше, командний пристрій реалізовано на базі персонального комп'ютера. Це пов'язано, передусім, із необхідністю збереження та обробки дослідних даних. Командний пристрій здійснює управління компонентами моделі через відповідну віртуальну

панель та логічний модуль. Окрім того відбувається моніторинг та збереження в базі даних результатів моделювання. Блок емуляції компонентів моделі дозволяє, після визначення параметрів реальних компонентів фізичної моделі проводити апроксимацію структури системи з динамічною структурою шляхом емуляції необхідної кількості компонентів.

### Висновки

Таким чином, в ході проведення досліджень розроблено фізичну модель системи з динамічною структурою, що являє собою апаратно-програмне середовище на основі мікроконтролерних плат.

За допомогою зазначеної моделі можливо відтворювати процес функціонування вказаної системи, та визначати параметри її елементів.

### Література

1. Баранов Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – К. : Наукова думка, 1986. – 272 с. 2. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др./ Под ред. В.И. Крутова, В.И. Попова. – М.:Высш. школа, 1989. – 400с. 3. Чернихівський Є. М. Математичне моделювання телекомунікаційних систем та мереж / Є.М. Чернихівський.– Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 272 с. 4. Кравченко Ю.В. Математичне моделювання складних технічних систем з динамічною структурою / Кравченко Ю.В., Миколайчук Р.А. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2012. – №3(15). – С. 26 – 28.

5. Кравченко Ю.В. Функціональне поле як основа аналізу та синтезу складних технічних систем з динамічною структурою/ Кравченко Ю.В., Миколайчук Р.А., Микусь С.А.// Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: міжн. наук. конф., 20-24 травня 2013 р.: тези доп.– Свляторія, 2013.–С.178–180 6. Якимов А.И. Метод имитационного моделирования многоуровневых иерархических систем / А.И. Якимов // Электронное моделирование. – 2008, – Т.30. – № 5. – С. 69–80. 7. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У.Соммер .–СПб.: БХВ–Петербург, 2012.–256 с.

Определены особенности физического моделирования функционирования систем с динамической структурой. Проведена формализация этапов моделирования. Разработана статистическая модель взаимодействия объектов воздействия и системы с динамической структурой.

Ключевые слова: сложная техническая система, динамическая структура, физическая модель.

Features of physical modeling systems with dynamic structure were determined. The formalizing of modeling was proposed. The physical model of the interaction between objects of impact and system with a dynamic structure was defined.

Key words: complex technical system, dynamic structure, the statistic model, physical model.